

Parallel Competitive Learning for Fast Codebook Design(コードブック高速生成のための並 列競合学習方式に関する研究)

著者	百瀬 真太郎
号	307
発行年	2004
URL	http://hdl.handle.net/10097/13007

氏名（本籍）	ももせ しんたろう 百瀬 真太郎（山形県）		
学位の種類	博士（情報科学）		
学位記番号	情博第307号		
学位授与年月日	平成17年3月25日		
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当		
研究科、専攻	東北大学大学院情報科学研究科（博士課程）情報基礎科学専攻		
学位論文題目	Parallel Competitive Learning for Fast Codebook Design（コードブック高速生成のための並列競合学習方式に関する研究）		
論文審査委員	（主査）東北大学教授 中村 維男 東北大学教授 出口光一郎 東北大学教授 小林 広明 東北大学講師 鈴木 健一 東北大学講師 滝沢 寛之		

論文内容要旨

1 緒論

近年、画像、動画、音声データなどの効率的非可逆圧縮手法としてベクトル量子化（Vector Quantization、以下VQ）が注目されている。VQはJPEGなどに代表されるスカラー量子化と比較して、高圧縮時のひずみが小さい。VQによるデータ圧縮処理は、全てのデータ（入力ベクトル）をこれよりも数の少ない代表データ（コードワード）により各々近似することにより圧縮を行うものである。コードワードの集合をコードブックと呼ぶ。VQにより誤差の少ない圧縮を実現するためには入力ベクトルセットに対して適切なコードブックが必要となる。このため、これまでに様々なコードブック生成アルゴリズムが提案されてきた。

現在、コードブック生成アルゴリズムとしてLBGアルゴリズムが広く用いられているが、LBGにより生成されたコードブックは局所解に陥りやすい問題がある。一方で、コホネン競合学習アルゴリズムに代表される競合学習アルゴリズムはLBGよりも局所解を脱しやすく、かつ様々な応用手法の導入が容易である特徴がある。しかしながら、競合学習アルゴリズムは計算量が膨大であり、適切なコードブックの生成には長い計算時間を要することが問題となっている。この問題を解決するために、並列競合学習アルゴリズムが提案されている。これらは速度向上を実現するが、ノード間通信やノードの非稼働状態といった並列処理のオーバーヘッドが大きく十分な台数効果が得られていない。

このような背景から、本研究では十分に高い台数効果を実現する競合学習の並列化手法の提案を行う。基本方針として、並列処理のオーバーヘッドが小さい入力ベクトル並列性を利用し、ノードの非稼働状態を回避するために非集中型の並列処理方式を用いる。この上で、競合学習アルゴリズムの処理手順を変更し、より高い並列性を引き出す。これにより、従来の並列競合学習アルゴリズムと比較して十分に高い台数効果の実現が期待できる。

2 ベクトル量子化

本章では、VQ、競合学習アルゴリズム、及び並列競合学習アルゴリズムについて述べる。VQは入力

ベクトルセットをコードブックにより近似する手法であるため、入力ベクトルセットに対して適切なコードブックが重要となる。最も基本的な競合学習アルゴリズムとして、コホネンの競合学習アルゴリズムが提案されている。このアルゴリズムは、ある入力ベクトルの最近傍コードワード（勝者）をコードブックの全探索により求め、勝者を入力ベクトルへ近づける処理を行う。この一連の処理を学習と呼ぶ。競合学習アルゴリズムは、各入力ベクトルに対して学習を繰り返すことによりコードブックを最適化する。しかし、全探索処理を用いているため計算量が多く、最適コードブックの生成には膨大な処理時間を要することが問題となっている。この問題を解決するために、様々な改良型競合学習アルゴリズムが提案されているが、依然として膨大な計算時間を要する。

コードブック生成の高速化のために、様々な並列競合学習アルゴリズムが提案されている。これらのアルゴリズムは入力ベクトル並列性、またはコードワード並列性を利用したものである。並列処理効率の観点から入力ベクトル並列性が有利である。一方で、これら並列競合学習アルゴリズムはマスタ・スレイブ型の並列処理方式を採用しており、マスタの処理中に各スレイブノードが非稼働状態となり、十分な速度向上が得られない問題がある。このため、本研究においては入力ベクトル並列性に基づく非集中型の並列化方式を用いた並列競合学習アルゴリズムを提案する。特に、高い台数効果を実現するために、競合学習の処理手順を変更することにより競合学習アルゴリズムから高い並列性を引き出す。3章において提案する手法は、処理手順変更の度合いを小さくすることにより並列性を引き出しつつ量子化誤差増加を抑制する手法である。一方で、4章での提案手法は量子化誤差増加と引き換えに並列性を十分に引き出し、高い速度向上を実現する手法である。

3 入力ベクトル並列性に基づく並列競合学習アルゴリズム

本章では、入力ベクトル並列性に基づく並列競合学習アルゴリズムを提案し、その評価を行う。入力ベクトル並列性においては、各ノードにコードブック全体を配置し、同時に各ノードに異なる入力ベクトルを与える。各ノードに一度に与える入力ベクトルの個数を連続入力数と呼ぶ。次に各ノードは、与えられた入力ベクトルに対する勝者をコードブック中から探索し、勝者を出力する。この処理を連続入力と呼ぶ。次に各勝者を通信により全ノードに同様に集約する。通信にはバイナリスワップ通信を用い、勝者集約に要する通信コストを最小限に抑える。次に、集約された勝者リストに基づき各ノードが一樣にコードブックの更新を行う。この学習手法を連続入力・連続更新手法と呼ぶ。通信回数が連続入力数に反比例して減少するため、1回の通信に要するセットアップタイムが減少し並列処理効率向上に寄与する。しかしながら、連続入力数増加に伴う量子化誤差増加が考えられる。

実験により提案する並列化手法の評価を行った。実験には IBM SP2、NEC AzusaA、及び PC クラスタを用いた。提案する手法はいずれの並列計算機においても高い台数効果を実現した。特に、ネットワーク性能の低い PC クラスタにおいても連続入力数を大きくすることにより、十分な台数効果の実現を可能とした。また、コードワード数の 25% 以内の連続入力数を用いることにより、十分な台数効果と量子化誤差増加の抑制が可能となることを示した。

4 ハイブリッド並列性に基づく並列競合学習アルゴリズム

本章では、さらにコードワード並列性を導入することによりアルゴリズム変更の度合いを高め、大幅に通信コストを削減可能な並列化手法を提案する。これにより、通信性能の低い並列計算機においても十分に高い速度向上を実現する。通信コストを大幅に削減する手法として空間分割手法を導入した。空間を分割し各部分空間毎に独立に学習処理をすることにより、入力ベクトル並列性、及びコードワード並列性の同時利用が可能となり大幅に並列性が高まる。また、独立した学習処理のため部分空間間の通信が不要となり通信コストの大幅な削減が可能となる。本手法においては、各部分空間毎に独立して学

習を行うために部分空間へのコードワード分配が重要となる。コードワードの分配は各部分空間内の入力ベクトルの重心と各入力ベクトル間の平均距離に基づき行う。これにより各部分空間毎の部分量子化誤差を均一に近づけることが可能となり、全体の量子化誤差増加を抑制する。

実験により提案手法の評価を行った。実験には通信性能の低い並列計算機として PC クラスタを用いた。本手法は部分空間毎の独立した学習であるため、逐次処理においても大幅な計算量削減を実現している。このため、空間分割数の増加に伴い数百倍という高い速度向上を実現した。並列処理においては空間分割のための前処理時間の占める割合が大きく並列処理効率は低い。しかしながら、台数効果、及び空間分割による計算量削減効果により十分に高い速度向上が得られた。一方で、空間の分割により学習誤差が増加し量子化誤差が増加するが、本手法は少ない空間分割数においても十分に高い速度向上を実現するために、競合学習アルゴリズムに基づくコードブックの高速生成手法として有効であるといえる。

図 1 は 3 章、及び本章における提案手法の性能比較である。3 章の提案手法は量子化誤差の増加を抑えつつ速度向上が可能な手法であり、本章における提案手法は量子化誤差の増加を許容しつつ大幅な速度向上を実現する手法である。

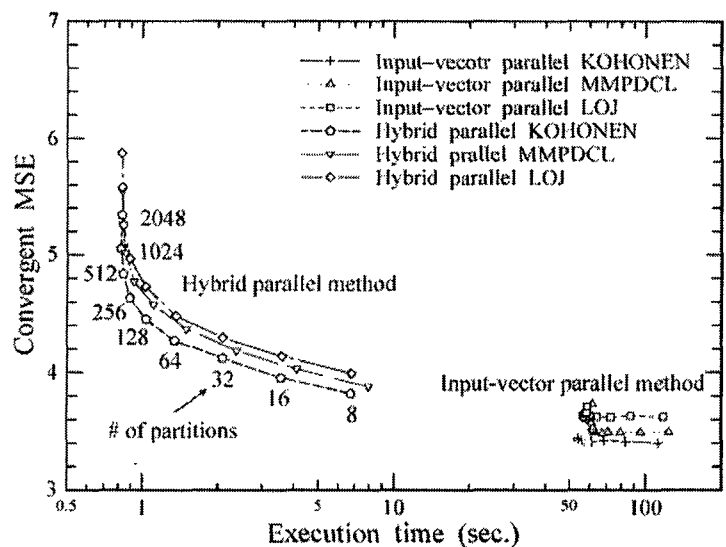


図 1 提案する 2 手法の性能比較

5 結論

本研究では競合学習アルゴリズムの高速化を目的として 2 つの競合学習並列化手法を提案した。競合学習アルゴリズムからより高い並列性を引き出すために、3 章の手法では連続入力・連続更新手法を導入し通信コストを削減した。4 章では空間分割手法を導入することにより、計算量の削減、及び通信コストの削減を行った。これらの手法は従来の競合学習アルゴリズムの処理手順を変更することにより高い台数効果を得る手法である。

実験によりこれら並列化手法の評価を行った。3 章の手法は適切な連続入力数を用いることにより、量子化誤差の増加を抑えつつ高い台数効果の実現が可能であった。4 章の手法は、空間分割数の増加に伴い量子化誤差が増加する顕著なトレードオフの関係にあるが、少ない空間分割数においても計算量削減効果により十分に高い速度向上の実現が可能であり、量子化誤差の増加も小さく抑えることが可能である。

以上の結果より、本論文は競合学習アルゴリズムの速度向上を実現することによりその応用範囲を広げ、大規模な圧縮、認識、クラスタリング技術等の発展の一助となるといえる。

論文審査の結果の要旨

ベクトル量子化は、データ転送や保存に用いる非可逆圧縮技術として有望視されている。これまで、ベクトル量子化の量子化誤差を小さくするために、さまざまな競合学習アルゴリズムが提案されてきた。しかしながら、これらの競合学習アルゴリズムは、とくにコードブックの規模が大きくなった場合に、膨大な計算量が問題となっている。本論文は、さまざまな競合学習に適用可能で、効率的な並列化による高速計算に適した大規模コードブック設計アルゴリズムについて論じたもので、全編5章からなる。

第1章は緒論である。

第2章では、競合学習アルゴリズムに基づく既存のコードブック生成手法とその並列化手法の分析をもとに、本論文で提案する並列競合学習方式の採る戦略を明らかにしている。この戦略は、既存の並列競合学習方式の利用できなかった並列性を抽出するものであり、画期的である。

第3章では、入力ベクトル並列性を利用し、さらに連続入力および連続更新の手法を用いる並列処理方式について論じている。この処理方式は、多くの並列性を抽出できるだけでなく、低コストなメッセージ交換型の分散メモリ並列計算機への実装に耐えうるよう工夫が凝らされている。競合学習アルゴリズムを並列化した場合の性能評価から、本手法は、さまざまなアルゴリズムについて、広範囲の計算環境において高い台数効果を発揮できることを示している。これは本手法が、低コストなクラスタ並列計算機からハイエンドの専用並列計算機まで適用可能なことを意味しており、非常に有益な成果である。

第4章では、入力ベクトル並列性とコードワード並列性の両者を利用する並列処理方式について論じている。入力ベクトルとコードワードの並列性を同時に利用するためには、プロセッサ間の通信量の削減が不可欠であるが、本方式では、優れた空間分割方式を採用することにより、通信コストを抑えつつ大きな並列性を獲得すると共に、競合学習の計算量を大幅に削減している。これは競合学習アルゴリズムの適用範囲を大きく拡大する道を拓くものであり、極めて重要な成果である。

第5章は、本論文を総括し、結論としている。

以上、要するに本論文は、ベクトル量子化コードブック高速生成のための並列競合学習方式について、特に並列性の抽出の観点から論じ、アルゴリズムの工夫から低コストでの実装までを行なったものであり、情報基礎科学の発展に寄与するところが少なくない。よって、本論文を博士(情報科学)の学位論文として合格と認める。